不同无机磷源对断奶仔猪钙、磷表观消化率及钙、磷代谢的影响[1]

王秀静　贺　琴　游金明*　曹贵彬　刘　阳　熊　昊

（江西农业大学，江西省动物营养重点实验室，江西省营养饲料开发工程中心，南昌 330045）

摘　要：本试验旨在研究不同无机磷源对断奶仔猪钙、磷表观消化率及钙、磷代谢的影响。试验选取 200 头遗传背景一致、健康状况良好、初始体重为（8.41±0.97） kg 的（28±2）日龄的长×大断奶仔猪，随机分成 5 个组，每个组 4 个重复，每个重复 10 头仔猪（公母各占 1/2）。5 组仔猪分别饲喂含 0.66%粉状磷酸氢钙（DCP）、0.44%粒状磷酸二氢钙（MCP）、0.44%粉状 MCP、0.49%粉状磷酸一二氢钙（MDCP）、0.49%粒状 MDCP 的饲粮，并保持饲粮钙、磷水平一致。试验期 28 d。结果显示：1）各组仔猪的钙和干物质表观消化率差异不显著（$P>0.05$），粉状 MDCP 组仔猪的磷表观消化率显著高于粉状 DCP、粒状 MCP 和粉状 MCP 组（$P<0.05$），但与粒状 MDCP 组差异不显著（$P>0.05$）；2）仔猪血清钙、磷含量各组之间差异不显著（$P>0.05$），但粉状 MCP 组仔猪血清碱性磷酸酶活性显著低于其他组（$P<0.05$）；3）蹄骨重、蹄骨灰分重、蹄骨灰分率及蹄骨磷含量各组之间差异不显著（$P>0.05$），但粉状 MDCP、粉状 MCP 以及粒状 MCP 组蹄骨钙含量显著高于粉状 DCP 组（$P<0.05$）。由此可知，相较于粉状 DCP，粉状 MDCP、粒状 MDCP、粒状 MCP 和粉状 MCP 均能较好地促进断奶仔猪钙、磷的代谢和利用，是替代粉状 DCP 的良好磷源。

关键词：无机磷；断奶仔猪；钙、磷表观消化率；钙、磷代谢

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

磷是动物体内除钙以外含量最丰富的矿物质元素，占动物体重的 0.7%~1.1%，是构成骨骼和牙齿的主要成分[1]。在生物学功能方面，磷不仅参与机体磷酸肌酸、ATP 等贮能、供能物质的形成，还是许多辅酶、体液缓冲物质的组成成分，对调节能量代谢、维持细胞膜功能、机体酸碱平衡及正常渗透压有重要作用[2]。大量研究表明，动物缺磷将导致软骨组织中钙沉积受阻。主要表现为骨骼、牙齿发育不良，食欲不振和异嗜，严重者可引起骨质疏松、瘫痪和死亡。因此，满足动物对磷的需求，对维持机体的健康生长具有重要意义。在仔猪养殖过程中，通常会在饲粮中添加大量无机磷源，以满足仔猪快速生长的需要。但饲粮中未被吸收的磷会流失到环境中，这样

收稿日期：2017-08-15

基金项目：江西省生猪产业技术体系项目（JXARS-03-营养与饲料岗）

作者简介：王秀静（1990-），女，海南文昌人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 1197531010@qq.com

*通信作者：游金明，教授，博士生导师，E-mail: youjinm@163.com

不仅导致磷的浪费，还将严重污染环境。磷矿是目前饲粮中无机磷的主要来源，而磷矿是一种非再生资源。因此，寻求可替代的有效无机磷迫不及待[3]。我国饲料级无机磷源主要包括饲料级磷酸氢钙（DCP）、磷酸二氢钙（MCP）和骨粉等。MDCP 为 DCP 与 MCP 的共晶结合物，是一种枸溶性磷酸盐与水溶性磷酸盐相结合的新型饲料添加剂。目前该产品在欧美国家已被广泛应用，但在我国，MDCP（尤其是国产 MDCP）的生物学效价尚未得到很好地评估。本试验以断奶仔猪为试验动物，研究分析 MDCP、MCP 及 DCP 等不同无机磷源对断奶仔猪钙、磷消化利用的影响，以期为无机磷源的开发研究和科学利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选用的无机磷源由中化云龙有限公司提供，包括粉状 DCP（磷含量为 17%）、粉状 MCP（磷含量为 22%）、粒状 MCP（磷含量为 22%）、粉状 MDCP（磷含量为 21%）和粒状 MDCP（磷含量为 21%）。

1.2 试验动物与分组设计

试验选取 200 头遗传背景一致、初始体重为（8.41±0.97） kg 的（28±2）日龄的长×大断奶仔猪为试验动物，随机分为 5 个组，每个组 4 个重复，每个重复 10 头猪（公母各占 1/2）。5 组仔猪分别饲喂含粉状 DCP、粉状 MCP、粒状 MCP、粉状 MDCP 及粒状 MDCP 的饲粮。

1.3 试验饲粮

试验饲粮采用玉米-豆粕型饲粮，营养水平参照 NRC（2012）仔猪营养需要设计。配制不同无机磷源的饲粮时，通过调整不同无机磷源及石粉的含量，来保持各组饲粮钙、磷水平一致。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

1.4 饲养管理

试验仔猪于保育床上分栏饲养，舍温控制在 25~28 ℃，湿度控制在 55%~65%。所有仔猪自由采食和饮水，粉料饲喂，每天饲喂 4~5 次，记录仔猪采食量。其他日常管理按猪场常规饲养管理程序执行。试验期 28 d。

1.5 样品采集及处理

于试验第 26~28 天，采用全收粪法采集每只猪全部粪样。将收集的粪样混匀，取 200 g。每 100 g 粪样加入 10%硫酸 20 mL，并滴加甲苯，充分混匀。将其平摊在瓷盘中，置于 65 ℃烘箱中烘干，室温下回潮 24 h 后，粉碎，过 40 目筛，置于 4 ℃冰箱中保存待测。

于试验第 28 天早晨，将全部仔猪空腹称重后，从每个重复随机选取 2 头仔猪，于前腔静脉

采取血液 8 mL。将采集的血液静置于 4 ℃的冰袋泡沫箱中 30 min 后，3 000 r/min 离心 l0 min，分离制备血清，血清置于-20 ℃冰柜保存，用于测定钙、磷含量及碱性磷酸酶（ALP）活性。蹄骨样品的采集与制备参照曹贵彬[4]的方法进行。

表 1 试验饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets （air-dry basis） %

项目 Items	磷源 Phosphorus sources				
	粉状磷酸氢钙 Powdery DCP	粉状磷酸二氢钙 Powdery MCP	粒状磷酸二氢钙 Granular MCP	粉状磷酸一二钙 Powdery MDCP	粒状磷酸一二钙 Granular MDCP
原料 Ingredients					
玉米 Corn	56.00	56.00	56.00	56.00	56.00
大豆粕 Soybean meal	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
膨化全脂大豆 Extruded soybean	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
进口鱼粉 Fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
乳清粉 Dried whey	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
大豆油 Soybean oil	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
石粉 Limestone	0.87	1.08	1.08	1.02	1.03
粉状磷酸氢钙 Powdery DCP	0.66				
粉状磷酸二氢钙 Powdery MCP		0.44			
粒状磷酸二氢钙 Granular MCP			0.44		
粉状磷酸一二钙 Powdery MDCP				0.49	
粒状磷酸一二钙 Granular MDCP					0.49
氯化钠 NaCl	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
膨润土 Bentonite	0.40	0.41	0.41	0.42	0.41
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys • HCl	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
预混料 Premix1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)					
消化能 DE/（MJ/kg）	14.32	14.32	14.32	14.32	14.32
粗蛋白质 CP	20.11	20.11	20.11	20.11	20.11
钙 Ca	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
总磷 Total P	0.60	0.58	0.58	0.59	0.59
有效磷 Availability P	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40

赖氨酸 Lys	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
蛋氨酸 Met	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
苏氨酸 Thr	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided per kilogram of diets：Fe 150 mg，Cu 10 mg，Mn 40 mg，Zn 135 mg，I 0.2 mg，Se 0.3 mg，Co 1.5 mg，VA 10 000 IU，VD_3 3 000 IU，VE 40 IU，VK_3 1.5 mg，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_6 3.5 mg，VB_{12} 0.2 mg，泛酸 pantothenic acid 25 mg，尼克酸 niacin 35 mg，生物素 biotin 0.15 mg，叶酸 folic acid 1.0 mg。预混料中不含酸化剂 There was no acidifier in premix。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.6 测定指标与方法

血清中钙、磷含量及碱性磷酸酶活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。参照曹贵彬[4]的方法测定仔猪蹄骨重、蹄骨灰分重以及蹄骨中钙、磷含量，并计算蹄骨灰分率。饲粮和粪样中钙含量采用高锰酸钾法测定，磷含量采用钼黄比色法测定。钙、磷表观消化率的计算公式如下：

钙表观消化率=100×（食入饲粮总钙量－食入饲粮后排泄物钙量）/食入饲粮总钙量；

磷表观消化率=100×（食入饲粮总磷量－食入饲粮后排泄物磷量）/食入饲粮总磷量。

1.7 数据统计处理

采用 Excel 2003 处理试验基础数据，仔猪钙、磷表观消化率及钙、磷代谢相关指标等结果采用 SPSS 17.0 中的 one-way ANOVA 程序进行方差分析，并采用 Ducan 氏进行多重比较，结果以“平均值±标准差”表示，以 $P<0.05$ 为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 不同无机磷源对断奶仔猪钙、磷表观消化率的影响

不同无机磷源对断奶仔猪钙、磷表观消化率的影响见表 2。表中数据显示，粉状 DCP 组饲粮钙的表观消化率为 55.10%，比粒状 MDCP 组饲粮高出 14.94%，但各组饲粮钙的表观消化率差异不显著（$P>0.05$）。粉状 MDCP 组饲粮磷的表观消化率显著高于粉状 DCP、粒状 MCP 和粉状 MCP 组（$P<0.05$），其中粉状 MDCP 组比粉状 DCP 组高出 13.68%，但与粒状 MDCP 组差异不显著（$P>0.05$）。各组饲粮干物质的表观消化率差异不显著（$P>0.05$）。

表 2　不同无机磷源对断奶仔猪钙、磷表观消化率的影响

Table 2　Effects of different inorganic phosphorus sources on the apparent digestibility of calcium and

phosphorus of weaned piglets　%

项目 Items	磷源 Phosphorus sources					*P* 值 *P*-value
	粉状磷酸氢钙 Powdery DCP	粉状磷酸二氢钙 Powdery MCP	粒状磷酸二氢钙 Granular MCP	粉状磷酸一二钙 Powdery MDCP	粒状磷酸一二钙 Granular MDCP	
钙 Ca	55.10±0.94	50.45±3.10	52.12±5.22	52.94±4.74	47.94±3.54	0.076
磷 P	44.41±2.14[b]	45.10±0.54[b]	44.47±1.83[b]	50.48±2.87[a]	46.65±5.76[ab]	0.032
干物质 DM	77.37±5.95	78.96±2.84	75.84±5.25	76.02±2.45	78.94±8.13	0.807

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(*P*＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(*P*＜0.05)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05). The same as below.

2.2 不同无机磷源对断奶仔猪血清中钙、磷含量及碱性磷酸酶活性的影响

不同无机磷源对断奶仔猪血清中钙、磷含量及碱性磷酸酶活性的影响见表3。表中数据显示，仔猪血清中钙、磷含量各组之间差异不显著（*P*>0.05）。粉状 MCP 组血清中碱性磷酸酶活性最低，显著低于其他各组（*P*<0.05）。

表 3　不同无机磷源对断奶仔猪血清中钙、磷含量及碱性磷酸酶活性的影响

Table 3　Effects of different inorganic phosphorus sources on calcium and phosphorus contents and alkaline phosphatase activity in serum of weaned piglets

项目 Items	磷源 Phosphorus sources					*P* 值 *P*-value
	粉状磷酸氢钙 Powdery DCP	粉状磷酸二氢钙 Powdery MCP	粒状磷酸二氢钙 Granular MCP	粉状磷酸一二钙 Powdery MDCP	粒状磷酸一二钙 Granular MDCP	
钙 Ca/(mmol/L)	2.34±0.20	2.28±0.23	2.41±1.56	2.41±0.08	2.29±0.16	0.995
磷 P/(mmol/L)	2.48±0.23	2.31±0.19	2.37±0.30	2.26±0.17	2.39±0.35	0.224
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	100.67±14.22[a]	74.00±4.36[b]	95.67.38±8.02[a]	94.89.52±11.48[a]	98.01±3.61[a]	0.035

2.3 不同无机磷源对断奶仔猪蹄骨质量的影响

不同无机磷源对断奶仔猪蹄骨质量的影响见表 4。表中数据显示，各组蹄骨重、蹄骨灰分重、蹄骨灰分率及蹄骨磷含量差异均不显著（P>0.05）。粉状 MCP、粒状 MCP 及粉状 MDCP 组蹄骨钙含量显著高于粉状 DCP 组（P<0.05），其中粉状 MCP 组蹄骨钙含量为 6.13%，比粉状 DCP 组高出 22.6%，但粉状 MCP、粒状 MCP 及粉状 MDCP 组之间蹄骨钙含量差异不显著（P>0.05）。

表 4　不同无机磷源对断奶仔猪蹄骨质量的影响

Table 4　Effects of different phosphorus sources on trotters bone mass of weaned piglets

项目 Items	磷源 Phosphorus sources					*P* 值 *P*-value
	粉状磷酸氢钙 Powdery DCP	粉状磷酸二氢钙 Powdery MCP	粒状磷酸二氢钙 Granular MCP	粉状磷酸一二钙 Powdery MDCP	粒状磷酸一二钙 Granular MDCP	
蹄骨重 Weight of trotters bone/g	1.93±0.28	2.02±0.11	2.04±0.48	2.02±0.27	1.94±0.27	0.947
蹄骨灰分重 Ash weight of trotters bone/g	0.17±0.02	0.18±0.02	0.18±0.03	0.18±0.00	0.18±0.03	0.975
蹄骨灰分率 Ash ratio of trotters bone/%	9.22±0.50	9.62±1.06	9.58±0.27	9.95±0.63	9.52±0.99	0.586
蹄骨钙含量 Ca content of trotters bone/%	5.00±0.29^{b}	6.13±0.49^{a}	5.85±0.80^{a}	5.87±0.42^{a}	5.44±0.94^{ab}	0.041
蹄骨磷含量 P content of trotters bone/%	2.52±0.17	2.65±0.34	2.64±0.10	2.61±0.29	2.60±0.33	0.920

3 讨　论

3.1 不同无机磷源对断奶仔猪钙、磷表观消化率的影响

畜禽空肠和十二指肠是磷吸收的主要场所。无机磷在小肠中的吸收受钙磷比、磷的存在形式、小肠 pH 及其他矿物元素互作效应等因素的影响。研究表明，无机磷的生物学效价为 DCP＜MCP，而 MDCP 是 MCP 与 DCP 的络合物，因此，理论上认为 MDCP 中磷的消化率应高于 DCP[5-6]。曹慧[7]的研究显示，MCP 和 MDCP 中磷的表观消化率分别为（88.33±3.44）%和（82.83±3.00）%，两者差异不显著，但均显著高于 DCP 中磷的表观消化率（69.66±5.38）%，即 MCP 及 MDCP 中磷的表观消化率要高于 DCP，这与本研究结果一致。这可能是因为 MCP 及 MDCP 显现微酸性，降低了饲粮的系酸力。当 MCP 和 MDCP 随饲粮进入到动物胃中时，其释放的氢离子激活胃肠道消化酶，从而提高了饲粮中磷的表观消化率[5]。

一般来说，猪对钙的表观消化率随生长阶段的不同而变化，但整体上与磷的表观消化率呈正

相关。饲粮中钙、磷含量越接近猪的营养需要，这种正相关关系就越明显[8]。但也有研究发现，在猪的不同生长阶段，磷的表观消化率与钙的表观消化率不呈正相关[9]，这与本试验的研究结果相似。其原因可能与饲粮中的钙磷比和钙含量有关。本试验中试验饲粮的钙磷比约为 1.4，而当钙磷比超过 1.3 时，钙的表观消化率将呈下降趋势[10]。此外，本试验中各试验饲粮中钙的含量为 0.83%，可能高于断奶仔猪阶段钙的实际需要量。当机体采食的钙超过机体本身对钙的需要量时，甲状旁腺 C-细胞被诱导促进降钙素的分泌，进而抑制肠道对钙的主动吸收，最终引起钙的表观消化率下降。

3.2 不同无机磷源对断奶仔猪血清中钙、磷含量和碱性磷酸酶活性的影响

血液中的钙、磷含量常用作评价动物体内磷的营养状况。通过骨骼、肠道以及肾脏等对消化吸收过程进行调节，血液中钙、磷含量一般处于动态平衡。血清中磷含量降低是动物缺乏磷的直接表现。当饲粮中钙、磷含量较低时，动物采食的钙、磷首先用于满足血液中钙、磷的需求，剩余部分才沉积在骨基质中。若饲粮中钙、磷含量较高，则骨骼中钙、磷沉积增加，同时降解释放到血液中的钙、磷也随之增加。本试验结果显示，将 DCP、MCP 及 MDCP 这 3 种不同的无机磷源分别添加到饲粮中，血清中钙、磷含量差异不显著。这可能是由于，各组饲粮中钙、磷含量已经达到了动物所需，已满足了血液中钙、磷的需求，剩余部分沉积在骨基质中；也可能是当饲粮中钙磷比一定时，饲粮中磷的种类对血清钙含量无显著影响[11]。

血清碱性磷酸酶活性是衡量钙、磷状况的重要生化指标，其敏感程度仅次于骨骼灰分、钙和磷含量以及骨骼的机械性能[12]。一般来说，血清中碱性磷酸酶活性与血清中磷、钙含量呈反比关系。Hurwitz 等[13]对鸡采食饲粮钙的营养研究证实，如果骨骼矿化不足，则血清碱性磷酸酶活性升高。本试验也显示，粉状 MCP 组仔猪血清碱性磷酸酶活性最低，这可能是因为粉状 MCP 更有利于钙、磷的沉积，从而减少机体骨骼矿物质释放的缘故。粉状 MCP 组仔猪蹄骨钙含量显著增加也印证了这一结果。然而，也有研究发现，不同磷源对鸡血清碱性磷酸酶活性的影响不显著[14-15]。

3.3 不同无机磷源对断奶仔猪蹄骨中钙、磷沉积的影响

自20世纪50年代初人们开始利用磷矿作为动物配合饲料原料以来，便有大量研究证实，磷矿作为饲料级磷源在动物骨骼钙、磷沉积方面起着不可替代的作用[16-19]。另外，骨灰分主要由钙盐和磷酸盐组成，元素含量相对稳定，因此骨灰分重常被作为钙、磷沉积量的常用指标。黄阿彬[20]研究了无机磷在育肥猪饲粮中的作用，结果发现，MCP组肱骨、股骨钙含量比DCP组分别高出13.42%和20.10%，而MCP组肱骨、股骨磷含量也比DCP组分别高出11.84%和13.95%，由此推断

MCP比DCP更有助于骨骼钙、磷的沉积。但谭占坤[12]研究认为，MDCP和DCP对鸡胫骨钙和磷含量、胫骨强度以及胫骨灰分含量的影响并不显著。本试验结果表明，粉状MCP、粒状MCP、粉状MDCP及粒状MDCP对仔猪蹄骨质量的影响不大，但均表现出有利于促进仔猪骨骼钙、磷沉积的效果，其中粉状MCP效果更为理想。

4 结 论

① 粉状 MDCP 组磷的表观消化率显著高于粉状 DCP、粒状 MCP 和粉状 MCP 组，但与粒状 MDCP 组差异不显著。与粉状 DCP 相比，粉状 MDCP、粉状 MCP 以及粒状 MCP 可显著提高断奶仔猪蹄骨钙含量。

② 不同无机磷源对断奶仔猪蹄骨磷含量和血清钙、磷含量的影响并不显著，但与其他各组相比，粉状 MCP 组仔猪血清碱性磷酸酶活性显著降低。

③ 综合无机磷源对断奶仔猪钙、磷表观消化率和骨骼生长的影响，粉状 MDCP 和粒状 MDCP、粒状 MCP 和粉状 MCP 是替代粉状 DCP 的良好磷源。

参考文献:

[1] 计成.动物营养学[M].北京:高等教育出版社,2008:119–126.

[2] 赵朝阳,周洪琪,徐跑,等.花鲻对饲料中不同无机磷源的利用率[J].上海水产大学学报,2008,17(2):199–203.

[3] 邹秀芸.不同方法评定饲料磷生物学效价的比较研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2008.

[4] 曹贵彬.新型耐热植酸酶对断奶仔猪生长性能、骨骼发育及免疫功能的影响[D].硕士学位论文.南昌:江西农业大学,2014.

[5] 夏良宙,李霞,万荣.不同种类和来源磷酸钙盐对肉鸡生产性能和养分代谢的影响[J].饲料工业,2014(S1):48–52.

[6] 屠焰,范先国,霍启光.影响磷酸盐中磷生物学利用率的因素[J].中国饲料,1998(9):6–8.

[7] 曹慧.猪对饲料级磷酸盐磷生物学利用率的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2003.

[8] 刘显军.生长猪饲料级磷酸盐中可消化磷的评定[D].硕士学位论文.沈阳:沈阳农业大学,2001.

[9] 王凤来,陈清明,张曼夫.日粮不同磷水平和钙磷比例对香猪钙磷代谢的影响[J].中国畜牧杂志,1999,35(6):8–11.

[10]STEIN H H,ADELA O,CROMWELL G L,et al.Concentration of dietary calcium supplied by calcium carbonate does not affect the apparent total tract digestibility of calcium,but decreases

digestibility of phosphorus by growing pigs[J].Journal of Animal Science,2011,89(7):2139–2144.
[11] 王凤来,张曼夫,陈清明,等.日粮磷和钙磷比例对小型猪(香猪)血清、肠、骨碱性磷酸酶及血清钙磷的影响[J].动物营养学报,2001,13(1):36–42.
[12] CROMWELLG L.Biological availability of phosphorus for pigs[J].Feedstuffs,1980,52(9):38–42.
[13] HURWITZ S,FISHMANS,TALPAZ H.Model of plasma calcium regulation:system oscillations induced by growth[J].American Journal of Physiology,1987,252(6 Pt 2):R1173–R1181.
[14] 谭占坤.磷来源和水平对蛋鸡生产性能、蛋品质和骨骼质量的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2011.
[15] 卞克明.不同磷源及无机磷水平对肉鸡血清无机磷、碱性磷酸酶及增重的影响[J].当代畜牧,1993(3):6–7,15.
[16] 韩进诚,瞿红侠,姚军虎,等.家禽无机磷吸收机制研究进展[J].中国家禽,2009(13):35–37,42.
[17] 李佳,解鹏,吴东波.猪对磷利用的研究进展[J].猪业科学,2006(9):42–44.
[18] PETERSEN G I,PEDERSEN C,LINDEMANN M D,et al.Relative bioavailability of phosphorus in inorganic phosphorus sources fed to growing pigs[J].Journal of Animal Science,2011,89(2):460–466.
[19] 刘松柏.肉仔鸡对饲料标准磷利用率、可利用磷需要量及小肠磷吸收机制研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.
[20] 黄阿彬.不同磷源及水平对育肥猪生长性能和骨骼质量的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2013.

Effects of Different Inorganic Phosphorus Sources on Apparent Digestibility and Metabolism of Calcium and Phosphorus of Weaned Piglets

WANG Xiujing HE Qin YOU Jinming* CAO Guibin LIU Yang XIONG Hao

(*Nutrition Feed Development Engineering Center of Jiangxi Province, Key Laboratory of Animal Nutrition in Jiangxi Province, Jiangxi Agricultural University, Nanchang* 330045*, China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of different inorganic phosphorus sources

*Corresponding author, professor, E-mail: youjinm@163.com   (责任编辑　菅景颖)

on apparent digestibility and metabolism of calcium and phosphorus of weaned piglets. Two hundred weaned piglets at the age of (28±2) days with similar genetic background, good health status and body weight of (8.41±0.97) kg were randomly divided into 5 groups with 4 replicates of 10 piglets (half male and half female) per replicate. The piglets in the 5 groups were fed diets supplemented with 0.66% powdery dibasic calcium phosphate (DCP), 0.44% powdery mono-calcium phosphate (MCP), 0.44% granular MCP, 0.49% powdery mono-calcium and di-calcium phosphate (MDCP) or 0.49% granular MDCP, respectively. Five group diets keep a same levels of calcium and phosphorus. The whole experiment lasted for 28 days. The results showed as follows: 1) the apparent digestibility of calcium and the dry matter had no significant difference among groups (P>0.05). The apparent digestibility of phosphorus of powdery MDCP group was significantly higher than that of powdery DCP, powdery MCP and granular MCP groups (P<0.05), but no significant difference was found between powdery MDCP and granular MDCP groups (P>0.05). 2) There were no significant differences in the contents of serum calcium and phosphorus among groups (P>0.05). But compared with the other groups, the serum alkaline phosphatase activity of powdery MCP group was significantly reduced (P<0.05). 3) There were no significant differences in the coffin bone weight, coffin bone ash weight, coffin bone ash ratio and coffin bone phosphorus content among groups (P>0.05). However, the coffin bone calcium content of powdery MDCP, powdery MCP and granular MCP groups was significantly higher than that of powdery DCP group (P<0.05). In conclusion, compares with powdery DCP, powdery MDCP, powdery MCP, granular MDCP and granular MCP can improve the metabolism and utilization of calcium and phosphorus, all of them are good inorganic phosphorus sources to substitute powdery DCP.

Key words: inorganic phosphorus; weaned piglets; apparent digestibility of calcium and phosphorus; metabolism of calcium and phosphorus